



枣飞象对枣树植物挥发物的 EAG 和行为反应

阎雄飞, 刘永华, 王亚文, 李 刚, 景 瑞, 杨亚洁

(榆林学院生命科学院, 陕西榆林 719000)

摘要:【目的】枣飞象 *Scythropus yasumatsui* 是枣树 *Zizyphus jujuba* 主要害虫。近年来,在陕西和山西枣区暴发成灾,造成了严重的经济和生态损失。本研究旨在明确枣树挥发性物质在枣飞象成虫化学通讯中的作用,为该虫植物源引诱剂开发和研制提供基础资料。【方法】利用顶空吸附法收集 5 个枣树品种(木枣、狗头枣、赞皇枣、骏枣和酸枣)的枣芽挥发物,采用气质联用(GC-MS)进行化学指纹谱的鉴定和分析;随后分别利用触角电位(electroantennogram, EAG)仪和 Y 型嗅觉仪测定枣飞象成虫对 17 种枣树挥发性物质的 EAG 和行为反应。【结果】5 个品种枣树的枣芽中共鉴定出挥发性物质 6 类 26 种,包括 9 种萜烯类、6 种酯类、4 种醇类、4 种烷类、2 种醛类和 1 种酚类;不同品种枣芽挥发性物质种类和含量具有差异。EAG 试验结果表明,枣飞象成虫对测试的 17 种枣树挥发性物质的 EAG 反应相对值有明显差异。枣飞象成虫对 D-柠檬烯、正十三烷、正十四烷、正十五烷、壬醛、棕榈酸甲酯、油酸甲酯 7 种挥发性物质的 EAG 反应较强。当挥发性物质浓度为 0.1~100 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 时,随着浓度增加,枣飞象成虫的 EAG 反应相对值先增加后下降,刺激浓度为 50 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 时 EAG 反应相对值达到最大。50 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 浓度下,枣飞象雌成虫对棕榈酸甲酯和壬醛 EAG 反应相对值分别为 3.84 和 3.67,雄成虫对棕榈酸甲酯和壬醛 EAG 反应相对值分别为 3.47 和 3.21,极显著高于对其他挥发性物质的 EAG 反应相对值。行为反应结果表明,枣飞象雌雄成虫对棕榈酸甲酯和壬醛有明显趋向性,选择率均大于 65%,雄成虫对十五烷有明显趋向性,雌雄成虫对其他供试的物质无明显趋向性。【结论】棕榈酸甲酯和壬醛对枣飞象雌雄成虫均有明显吸引作用,十五烷对雄成虫有明显吸引作用。结果提示棕榈酸甲酯和壬醛可能与枣飞象对不同品种枣树偏好性选择密切相关。

关键词: 枣飞象; 枣树; 挥发性物质; 触角电位; 行为反应; GC-MS

中图分类号: Q968.1 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2020)08-0981-11

EAG and behavioral responses of *Scythropus yasumatsui* (Coleoptera: Curculionidae) to volatiles from the common jujube (*Zizyphus jujuba*)

YAN Xiong-Fei, LIU Yong-Hua, WANG Ya-Wen, LI Gang, JING Rui, YANG Ya-Jie (College of Life and Science, Yulin University, Yulin, Shaanxi 719000, China)

Abstract: 【Aim】 *Scythropus yasumatsui* is an important pest of the common jujube (*Zizyphus jujuba*) and has broken out in Shaanxi and Shanxi provinces in recent years, causing considerable economic and ecological loss. The purpose of this study is to demonstrate the role of jujube volatiles in chemical communication in *S. yasumatsui* adults, so as to provide basic data for the development of botanical attractants for weelives. 【Methods】 The volatiles from buds of five common jujube cultivars (Muzao, Goutouzao, Zanhuanzao, Junzao, and Suanzao) were collected by headspace absorption device and then identified and quantified with gas chromatography and mass spectrometry (GC-MS). The EAG and behavioral responses of *S. yasumatsui* adults to 17 volatile compounds of the common jujube were assayed

with electroantennogram (EAG) apparatus and Y-tube olfactometer, respectively. 【Results】 A total of 26 volatile compounds of six groups, including 9 terpenes, 6 esters, 4 alcohols, 4 alkanes, 2 aldehydes and 1 phenol, were indentified from buds of five common jujube cultivars. The volatile compounds and their contents were different in buds of different common jujube cultivars. The EAG test results showed that there were significant differences in the relative EAG response value in *S. yasumatsui* adults to the tested 17 volatile compounds from the common jujube. The EAG responses of *S. yasumatsui* adults to D-limonene, n-tridecane, n-tetradecane, n-pentadecane, nonaldehyde, methyl hexadecanoate and methyl oleate were strong. With the increase of the concentration of volatile compounds ranging from 0.1 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ to 100 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$, the relative EAG response values in female and male adults increased first and then decreased. The highest EAG responses occurred at the volatile concentration of 50 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$. The EAG values of female adults to 50 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ of methyl hexadecanoate and nonaldehyde were 3.84 and 3.67, respectively, and those of male adults to these two compounds were 3.47 and 3.21, respectively. At the concentration of 50 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$, methyl hexadecanoate and nonaldehyde elicited significantly higher EAG response of *S. yasumatsui* adults than other volatile compounds. Behavioral response tests showed that both female and male adults of *S. yasumatsui* showed obvious taxis to nonaldehyde and methyl hexadecanoate with the selection rate higher than 65%, male adults also showed significant taxis to n-pentadecane, and female and male adults showed no significant taxis to the other volatile compounds tested. 【Conclusion】 Nonaldehyde and methyl hexadecanoate are attractive to both female and male adults of *S. yasumatsui*, while n-pentadecane is attractive only to male adults. The results suggest that nonaldehyde and methyl hexadecanoate may account for the preference of *S. yasumatsui* to *Z. jujuba*.

Key words: *Scythropus yasumatsui*; *Zizyphus jujuba*; volatile compounds; electroantennogram; behavioral response; GC-MS

枣飞象 *Scythropus yasumatsui*, 别名枣食芽象甲、太谷月象、枣月象, 属鞘翅目 (Coleoptera) 象甲科 (Curculionidae) 飞象属 *Scythropus*, 是枣树 *Zizyphus jujuba* 的重要害虫 (师光禄等, 2000; 任登洲和齐向英, 2009)。枣飞象在我国广泛分布于山西、陕西、河北、河南、新疆、宁夏等红枣主产区, 是国家林业局公布的重要危险性有害生物之一。枣飞象主要以成虫取食枣芽危害, 迫使枣树二次萌芽, 大量消耗寄主营养, 导致结出苦涩的“二茬枣果”或者不结果, 严重影响红枣品质和产量 (唐学亮等, 2013; 阎雄飞等, 2019)。近年来, 由于枣飞象在陕西和山西等地的枣区连年成灾, 造成枣果绝收和幼树死亡的现象, 严重制约区域经济和生态环境的发展 (阎雄飞等, 2017)。目前使用化学农药降低虫口密度是枣区防治枣飞象的主要方法, 由于长期大量使用化学农药, 枣飞象已对很多农药产生抗性, 探索绿色高效的枣飞象防治技术迫在眉睫。因此, 利用植物挥发性物质监测和控制枣飞象具有重要实践意义。

自然界植物释放出醇类、酮类、酯类、萜烯类等挥发性有机化合物, 每种植物释放挥发性有机化合物的种类和比例都不相同, 各自都以较为精确的种

类和比例构成化学指纹谱 (戴建青等, 2010; 闫凤鸣, 2011; Knolhoff and Heckel, 2014)。在昆虫和植物互作过程中, 这些化学指纹谱是昆虫和寄主相互通讯的化学信号, 寄主植物释放的化学信号对昆虫的生存、发展和繁衍具有重要意义, 在植食性昆虫远距离寻找寄主、补充营养、交配、产卵等生命活动中发挥着重要作用 (杜永均和严福顺, 1994; 樊慧等, 2004; Bruce *et al.*, 2005; Dicke and Baldwin, 2010)。例如: 甘薯叶片挥发物柠檬烯是甘薯蚁象 *Cylas formicarius* 寄主定向的重要活性物质 (贾小俭等, 2017), 云斑白条天牛 *Batocera lineolata* 寄主光皮桦和核桃挥发出的 (Z)-3-己烯-1-醇是引诱该天牛前来补充营养的挥发性物质 (王保新等, 2014), 棉花、番茄等作物所释放的挥发性组分不仅能刺激美洲棉铃虫 *Heliothis zea* 的产卵行为, 且落卵量显著增高 (Tingle *et al.*, 1989), 胡萝卜 *Daucus carota* 叶片所释放的桉烯水合物、4-萜品醇、乙酸冰片酯、顺-3-己酸乙酯等化合物是引诱香芹黑凤蝶 *Papilio polyxenes* 产卵的关键性物质 (Baur *et al.*, 1993); 明确寄主和昆虫进行化学通讯的活性物质, 对于未来开发植物源引诱剂具有重要实践价值。

目前对枣飞象的研究多集中在形态学特征和生物学特性(贾增波等, 1991; 师光禄等, 2000; 张锋等, 2019a)、种群空间分布和遗传分化(黄维正和李东成, 1993; 阎雄飞等, 2014; 洪波等, 2019; 张锋等, 2019b)、物理阻隔和化学防治(高永强等, 2009; 唐雪亮等, 2013; 杨斌等, 2019)等方面,而关于枣飞象和寄主化学通讯方面的研究不多。前期有学者发现,枣芽为释放引诱物质吸引枣飞象的活性部位,不同品种枣树对枣飞象成虫具有不同的引诱活性(阎雄飞和李善才, 2012; 王晶玲等, 2017); 阎雄飞等(2017)测定了枣飞象对枣树 7 种挥发性物质的电生理和行为反应,发现枣飞象对罗勒烯和 α -法尼烯有明显正趋向作用。而关于不同品种枣树化学指纹谱如何,还有哪些挥发性物质对枣飞象具有引诱作用,目前尚未见系统的研究报道。基于此,本研究对 5 个品种枣树的挥发性物质进行了采集、鉴定和比较,研究了枣飞象对不同品种枣树挥发性物质的触角电位(electroantennogram, EAG)和行为反应,以期发现寄主挥发性物质在枣飞象成虫化学通讯中的作用,为枣飞象植物源引诱剂的开发提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试植物材料:试验所用枣树 *Z. jujuba* 品种为木枣、狗头枣、赞皇枣、骏枣和酸枣。供试枣芽于 2018 年 4 月 20 日采集自位于陕西省榆林市佳县上高寨乡的榆林市植物保护重点实验室的实验基地。

1.1.2 供试昆虫:枣飞象的种群采集自陕西省佳县刘国具镇王元村枣园(38°12'44.53"N, 110°25'7.12"E),2018 年 3 月下旬,将采集到的枣飞象蛹带回榆林市植物保护重点实验室,在温度 20 ± 1℃、相对湿度 60% ± 10%、光周期 14L:6D 的人工气候箱内培养,待羽化为成虫后,选择生长健康、大小一致的枣飞象成虫供试。

1.1.3 供试挥发性物质:采用顶空吸附和气质联用(GC-MS),从 5 个品种枣树的枣芽中共分离鉴定出 26 种挥发性物质,去除前期已经测试过的 7 种挥发性物质(阎雄飞等, 2017),且试剂公司能够提供和合成,最后筛选出 17 种挥发性物质于试验。供试的挥发性物质的名称、纯度和来源见表 1,分别用液体

表 1 供试 17 种挥发性物质的名称、纯度和来源
Table 1 Name, purity and source of 17 volatile compounds tested

挥发性物质 Volatile compounds	纯度(%) Purity	来源 Source	挥发性物质 Volatile compounds	纯度(%) Purity	来源 Source
α -蒎烯 α -Pinene	98	Aladdin	芳樟醇 Linalool	98	东京化成工业株式会社
α -萜澄茄油烯 α -Cubebene	99	Sigma-Aldrich	1-戊烯-3-醇 1-Penten-3-ol	97	Sigma-Aldrich
D-柠檬烯 D-Limonene	>95	Aladdin	棕榈酸甲酯 Methyl hexadecanoate	>97	Sigma-Aldrich
正辛烷 n-Octane	98	Sigma-Aldrich	邻苯二甲酸二丁酯 Dibutyl phthalate	>97	Sigma-Aldrich
正十三烷 n-Tridecane	99	Aladdin	乙酸叶醇酯 Cis-3-Hexenyl acetate	98	东京化成工业株式会社
正十四烷 n-Tetradecane	98	东京化成工业株式会社	水杨酸甲酯 Methyl salicylate	99	上海亚亦生物有限公司
正十五烷 n-Pentadecane	98	上海亚亦生物有限公司	丁香酚 Eugenol	99	Aladdin
壬醛 Nonaldehyde	96	Aladdin	油酸甲酯 Methyl oleate	96	上海亚亦生物有限公司
异丁醛 2-Methylpropanal	98	Aladdin			

石蜡将供试挥发性物质配制成 100 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 的溶液,液体石蜡(分析纯)购买自上海亚亦生物有限公司。

1.2 挥发物的采集和鉴定

枣芽挥发性物质的采集参考 Zhang 等(2019)的方法,利用顶空吸附装置进行采集。顶空吸附装置主要包括:QC-2B 大气采样仪(北京北京市劳动保护科学研究所)、自制的圆柱玻璃缸($\Phi 20\text{ cm} \times 25\text{ cm}$)、气体吸附管($\Phi 0.6\text{ cm} \times 12\text{ cm}$,用 100 mg Porapak Q 吸附剂填充)和活性碳过滤装置;装置各个部件用聚四氟乙烯管连接,形成一个顶空吸附系

统。气体流经的顺序依次为大气采样仪,活性碳过滤装置,自制的圆柱玻璃缸、吸附管、大气采样仪。每次称取新鲜枣芽 150 g 置于自制的圆柱玻璃缸中,排出空气后,调节气体流量为 250 mL/min,连接吸附管对枣芽挥发物采集,12 h 停止采集。空白对照为空样品缸,采集时间和程序同上,重复称取和采集枣芽挥发物 3 次。气体吸附管用 2 mL 正己烷(色谱纯)洗脱,将洗脱液浓缩为 1 mL 样品液,置于 -10℃ 冰箱中保存用于 GC-MS 鉴定。

采用美国安捷伦公司气相色谱-质谱联用仪(型

表 2 5 个枣树品种枣芽挥发性物质成分和相对含量

Table 2 Volatile compounds and their relative contents in buds of five cultivars of the common jujube (*Zizyphus jujuba*)

序号 No.	挥发性物质 Volatile compounds	分子式 Molecular formula	相对含量 Relative content (%)				
			木枣 Muzao	狗头枣 Goutouzao	赞皇枣 Zanhuangzao	骏枣 Junzao	酸枣 Suanzao
1	3-蒎烯 3-Camphene	C ₁₀ H ₁₆	0.84 ± 0.09	1.56 ± 0.27	1.38 ± 0.14	0.53 ± 0.14	ND
2	2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯 Alloocimene	C ₁₀ H ₁₆	4.32 ± 0.84	5.47 ± 1.04	3.31 ± 0.21	5.62 ± 0.62	6.74 ± 0.58
3	罗勒烯 Ocimene	C ₁₀ H ₁₆	23.21 ± 1.42	21.14 ± 1.02	28.5 ± 1.32	24.78 ± 1.83	20.53 ± 1.33
4	α-法尼烯 α-Farnesene	C ₁₅ H ₂₄	5.78 ± 0.73	4.23 ± 0.49	1.76 ± 0.23	3.31 ± 0.54	5.38 ± 1.02
5	α-萜澄茄油烯 α-Cubebene	C ₁₅ H ₂₄	0.62 ± 0.26	1.25 ± 0.61	0.31 ± 0.03	2.06 ± 0.56	0.35 ± 0.10
6	α-水芹烯 α-Phellandrene	C ₁₀ H ₁₆	1.23 ± 0.45	2.37 ± 0.82	3.64 ± 0.76	4.53 ± 1.33	0.91 ± 0.24
7	D-柠檬烯 D-Limonene	C ₁₀ H ₁₆	4.61 ± 0.73	3.05 ± 0.56	2.58 ± 0.46	1.16 ± 0.60	2.23 ± 0.85
8	α-蒎烯 α-Pinene	C ₁₀ H ₁₆	0.46 ± 0.10	0.79 ± 0.13	2.32 ± 0.36	3.47 ± 0.58	1.82 ± 0.87
9	波旁烯 β-Bourbonene	C ₁₅ H ₂₄	0.08 ± 0.02	0.34 ± 0.07	ND	ND	0.17 ± 0.04
10	正十三烷 n-Tridecane	C ₁₃ H ₂₈	1.84 ± 0.43	0.32 ± 0.07	ND	0.69 ± 0.06	2.13 ± 0.26
11	正十四烷 n-Tetradecane	C ₁₄ H ₃₀	0.37 ± 0.12	1.24 ± 0.53	2.78 ± 0.81	1.71 ± 0.32	0.58 ± 0.07
12	正辛烷 n-Octane	C ₈ H ₁₈	3.53 ± 1.03	5.78 ± 0.82	4.82 ± 1.21	6.13 ± 1.46	7.64 ± 0.94
13	正十五烷 n-Pentadecane	C ₁₅ H ₃₂	3.27 ± 0.62	2.76 ± 0.47	0.93 ± 0.24	1.14 ± 0.34	4.26 ± 0.63
14	芳樟醇 Linalool	C ₁₀ H ₁₈ O	4.36 ± 0.43	3.27 ± 0.13	5.74 ± 0.54	6.03 ± 0.86	6.72 ± 0.56
15	桉叶油醇 Eucalyptol	C ₁₀ H ₁₈ O	5.72 ± 1.41	4.59 ± 0.82	3.27 ± 0.37	1.58 ± 0.49	2.83 ± 0.29
16	1-戊烯-3-醇 1-Penten-3-ol	C ₅ H ₁₀ O	ND	ND	1.52	2.65	0.42
17	反-2-己烯醇 Trans-2-Hexenol	C ₆ H ₁₂ O	7.43 ± 0.24	6.21 ± 0.31	6.43 ± 0.16	8.70 ± 0.37	3.35 ± 0.12
18	棕榈酸甲酯 Methyl hexadecanoate	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	9.34 ± 0.51	7.32 ± 0.27	5.72 ± 0.53	4.67 ± 0.65	8.58 ± 0.50
19	乙酸正丁酯 Butyl acetate	C ₆ H ₁₂ O ₂	0.63 ± 0.17	1.95 ± 0.37	ND	0.91 ± 0.21	1.42 ± 0.21
20	邻苯二甲酸二丁酯 Dibutyl phthalate	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	1.15 ± 0.32	2.63 ± 0.49	1.87 ± 0.61	1.58 ± 0.78	0.63 ± 0.17
21	乙酸叶醇酯 Cis-3-Hexenyl acetate	C ₈ H ₁₄ O ₂	5.23 ± 0.56	4.47 ± 0.30	8.43 ± 1.19	6.62 ± 1.04	4.54 ± 0.86
22	水杨酸甲酯 Methyl salicylate	C ₈ H ₈ O ₃	0.68 ± 0.16	0.96 ± 0.28	1.37 ± 0.18	ND	0.52 ± 0.27
23	油酸甲酯 Methyl oleate	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	2.63 ± 0.50	3.41 ± 0.44	4.32 ± 0.67	5.42 ± 0.83	4.87 ± 0.36
24	异丁醛 2-Methylpropanal	C ₄ H ₈ O	ND	2.36 ± 0.12	1.27 ± 0.46	ND	1.23 ± 0.14
25	壬醛 Nonaldehyde	C ₉ H ₁₈ O	7.43 ± 1.13	6.18 ± 0.56	3.42 ± 0.78	4.55 ± 1.02	7.2 ± 1.32
26	丁香酚 Eugenol	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	5.21 ± 1.22	6.30 ± 0.94	4.29 ± 1.41	2.13 ± 0.47	4.86 ± 1.08

表中数据为平均值 ± 标准差。Data in the table are represented as mean ± SD. ND: 未检测到 Not detected.

10 种挥发性物质 EAG 反应相对值在 0.01 ~0.06 之间,说明枣飞象对这 10 种化合物反应非常弱。选择 D-柠檬烯、正十三烷、正十四烷、正十五烷、壬醛、棕榈酸甲酯和油酸甲酯 7 种挥发性物质用于不同浓度枣树挥发性物质的触角电位反应。

2.3 枣飞象对不同浓度枣树挥发性物质的触角电位反应

枣飞象对不同浓度枣树挥发性物质的触角电位反应试验结果如表 4。由表 4 可以看出:枣飞象成虫对不同挥发性物质的 EAG 反应相对值,在不同挥发性物质之间和同种挥发性物质不同浓度之间均存在一定差异。当挥发性物质刺激浓度为 0.1 μg/μL 时,枣飞象对各种挥发性物质 EAG 反应相对值显著低于其他浓度 ($P < 0.05$);当挥发性物质刺激浓度增加到1 μg/μL时,枣飞象对各挥发性物质反应均

有不同程度提高,当挥发性物质刺激浓度增加到 10 μg/μL 时,枣飞象成虫对各挥发性物质 EAG 反应相对值继续增加。当挥发性物质刺激浓度增加到 50 μg/μL 时,枣飞象对各挥发性物质的 EAG 反应相对值达到最大,且显著高于其他浓度(雌虫对正十五烷除外) ($P < 0.05$),说明枣飞象对各种挥发性物质反应达到最强。当挥发性物质刺激浓度增加到 100 μg/μL,各种挥发性物质 EAG 反应相对值有不同程度下降。

枣飞象成虫对 7 种挥发性物质触角电位反应结果见图 1。由图 1 可以看出,枣飞象雌、雄成虫对 7 种挥发性物质 EAG 顺序均为:棕榈酸甲酯 > 壬醛 > 柠檬烯 > 十五烷 > 十四烷 > 十三烷 > 油酸甲酯,在该浓度下,枣飞象雌成虫对棕榈酸甲酯和壬醛 EAG 反应相对值分别为 3.84 和 3.67,雄成虫对棕榈酸甲

表 3 枣飞象雌雄成虫对 17 种枣树挥发性物质的触角电位反应

Table 3 EAG responses of female and male adults of *Scythropus yasumatsui* to 17 volatile compounds from the common jujube (*Zizyphus jujuba*)

挥发性物质	性别	EAG 反应相对值	挥发性物质	性别	EAG 反应相对值
Volatile compounds	Sex	Relative EAG response value	Volatile compounds	Sex	Relative EAG response value
α-蒎烯	雌 Female	0.06 ± 0.01 fE	芳樟醇	雌 Female	0.04 ± 0.00 fE
α-Pinene	雄 Male	0.04 ± 0.01 gG	Linalool	雄 Male	0.02 ± 0.01 gG
α-萜澄茄油烯	雌 Female	0.02 ± 0.00 fE	1-戊烯-3-醇	雌 Female	0.02 ± 0.00 fE
α-Cubebene	雄 Male	0.01 ± 0.00 gG	1-Penten-3-ol	雄 Male	0.01 ± 0.00 gG
D-柠檬烯	雌 Female	2.47 ± 0.11 bB	棕榈酸甲酯	雌 Female	3.16 ± 0.32 aA
D-Limonene	雄 Male	2.14 ± 0.07 cC	Methyl hexadecanoate	雄 Male	2.86 ± 0.09 bB
正十三烷	雌 Female	0.91 ± 0.09 dD	邻苯二甲酸二丁酯	雌 Female	0.03 ± 0.01 fE
n-Tridecane	雄 Male	0.96 ± 0.06 eE	Dibutyl phthalate	雄 Male	0.02 ± 0.00 gG
正十四烷	雌 Female	1.42 ± 0.22 cC	乙酸叶醇酯	雌 Female	0.03 ± 0.00 fE
n-Tetradecane	雄 Male	1.49 ± 0.13 dD	Cis-3-Hexenyl acetate	雄 Male	0.02 ± 0.00 gG
正辛烷	雌 Female	0.02 ± 0.00 fE	水杨酸甲酯	雌 Female	0.01 ± 0.00 fE
n-Octane	雄 Male	0.01 ± 0.00 gG	Methyl salicylate	雄 Male	0.01 ± 0.00 gG
正十五烷	雌 Female	2.25 ± 0.18 bB	丁香酚	雌 Female	0.04 ± 0.01 fE
n-Pentadecane	雄 Male	1.92 ± 0.23 cC	Eugenol	雄 Male	0.02 ± 0.00 gG
壬醛	雌 Female	3.47 ± 0.23 aA	油酸甲酯	雌 Female	0.55 ± 0.04 eD
Nonaldehyde	雄 Male	3.22 ± 0.21 aA	Methyl oleate	雄 Male	0.52 ± 0.04 fF
异丁醛	雌 Female	0.01 ± 0.00 fE			
2-Methylpropanal	雄 Male	0.01 ± 0.00 gG			

表中数据为平均值 ± 标准误; 同列数据后标有不同小写和大写字母分别表示差异显著 ($P < 0.05$) 和极显著 ($P < 0.01$) (Duncan 氏多重比较法)。Data in the table are mean ± SE, and different small and capital letters following the data in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$) and extremely significant difference ($P < 0.01$), respectively (Duncan's multiple range test).

表 4 枣飞象雌雄成虫对不同浓度的 7 种枣树挥发性物质的 EAG 反应

Table 4 EAG responses of female and male adults of *Scythropus yasumatsui* to different concentrations of seven volatile compounds from the common jujube (*Zizyphus jujuba*)

挥发性物质	性别	EAG 反应相对值 Relative EAG response value				
		0.1 μg/μL	1 μg/μL	10 μg/μL	50 μg/μL	100 μg/μL
D-柠檬烯	雌 Female	1.21 ± 0.11 dD	1.67 ± 0.10 cCD	2.14 ± 0.09 bBC	2.95 ± 0.23 aA	2.38 ± 0.07 bB
D-Limonene	雄 Male	1.13 ± 0.06 dD	1.40 ± 0.05 dCD	1.68 ± 0.12 cBC	2.58 ± 0.11 aA	2.17 ± 0.09 bB
正十三烷	雌 Female	0.26 ± 0.02 dD	0.31 ± 0.01 dD	0.62 ± 0.03 cC	1.35 ± 0.09 aA	0.93 ± 0.08 bB
n-Tridecane	雄 Male	0.29 ± 0.01 dC	0.34 ± 0.02 dC	0.56 ± 0.05 cC	1.13 ± 0.13 aA	0.85 ± 0.07 bB
正十四烷	雌 Female	0.44 ± 0.04 dC	1.25 ± 0.05 cB	1.48 ± 0.09 bcB	2.10 ± 0.09 aA	1.43 ± 0.05 bB
n-Tetradecane	雄 Male	0.51 ± 0.07 cC	1.02 ± 0.07 bBC	1.39 ± 0.10 bAB	1.78 ± 0.17 aA	1.30 ± 0.19 bAB
正十五烷	雌 Female	0.85 ± 0.07 dC	1.18 ± 0.11 cC	1.65 ± 0.09 bB	2.47 ± 0.16 aA	2.18 ± 0.09 aA
n-Pentadecane	雄 Male	1.06 ± 0.05 dC	1.36 ± 0.07 cdBC	1.43 ± 0.08 cBC	2.38 ± 0.10 aA	1.79 ± 0.18 bB
壬醛	雌 Female	1.43 ± 0.05 dD	1.62 ± 0.07 dD	2.41 ± 0.06 cC	3.67 ± 0.12 aA	3.21 ± 0.08 bB
Nonaldehyde	雄 Male	1.27 ± 0.08 dC	1.58 ± 0.05 cC	2.66 ± 0.10 bB	3.21 ± 0.13 aA	3.07 ± 0.11 aA
棕榈酸甲酯	雌 Female	1.19 ± 0.04 eE	1.64 ± 0.03 dD	2.41 ± 0.08 cC	3.84 ± 0.08 aA	2.92 ± 0.18 bB
Methyl hexadecanoate	雄 Male	1.05 ± 0.05 cC	1.31 ± 0.10 cC	2.56 ± 0.12 bB	3.23 ± 0.15 aA	2.68 ± 0.12 bB
油酸甲酯	雌 Female	0.18 ± 0.01 dD	0.38 ± 0.05 cC	0.62 ± 0.02 bB	0.84 ± 0.05 aA	0.58 ± 0.05 bB
Methyl oleate	雄 Male	0.14 ± 0.01 dD	0.31 ± 0.03 cCD	0.48 ± 0.04 bBC	0.77 ± 0.06 aA	0.53 ± 0.06 bB

表中数据为平均值 ± 标准误; 同行数据后标有不同小写和大写字母分别表示差异显著 ($P < 0.05$) 和极显著 ($P < 0.01$) (Duncan 氏多重比较法)。Data in the table are mean ± SE, and different small and capital letters following the data in the same row indicate significant difference ($P < 0.05$) and extremely significant difference ($P < 0.01$), respectively (Duncan's multiple range test).

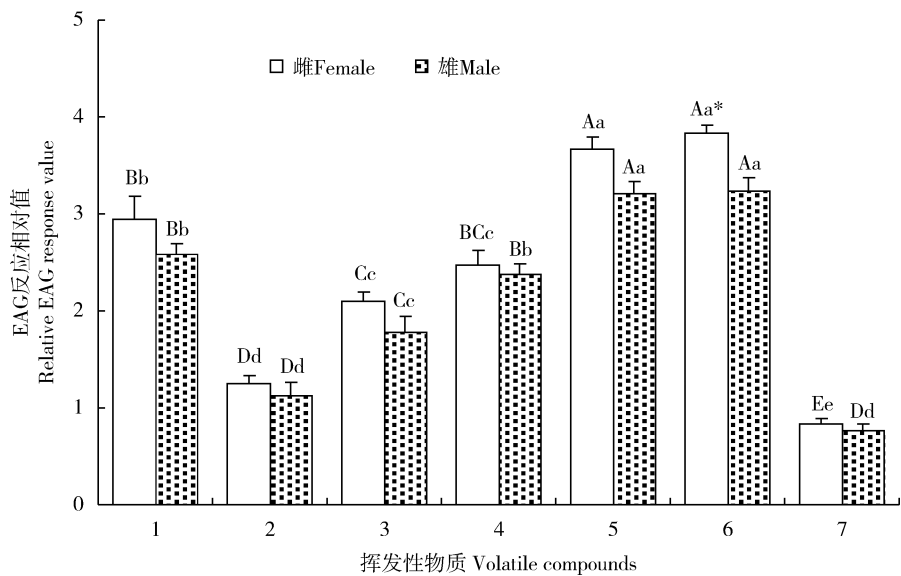


图 1 枣飞象成虫对 7 种枣树挥发性物质触角电位 (EAG) 反应

Fig. 1 Electroantennogram (EAG) responses of *Scythropus yasumatsui* adults to seven volatile compounds from the common jujube (*Zizyphus jujuba*)

1: D-柠檬烯 D-Limonene; 2: 正十三烷 n-Tridecane; 3: 正十四烷 n-Tetradecane; 4: 正十五烷 n-Pentadecane; 5: 壬醛 Nonaldehyde; 6: 棕榈酸甲酯 Methyl hexadecanoate; 7: 油酸甲酯 Methyl oleate. 柱上不同大小写字母分别表示雌成虫或雄成虫对不同挥发性物质间 EAG 反应的差异显著 ($P < 0.05$) 和极显著 ($P < 0.01$) (Duncan 氏多重比较法); 星号表示雌雄成虫对同种挥发性物质的 EAG 反应差异显著 (t 检验)。Different capital and small letters above bars indicate significant difference ($P < 0.05$) and extremely significant difference ($P < 0.01$), respectively, in the EAG responses of female or male adults to different volatile compounds (Duncan's multiple range test). Asterisk indicates significant difference in the EAG response between female and male adults to the same volatile compound ($P < 0.05$) (t -test).

酯和壬醛 EAG 反应相对值分别为 3.47 和 3.21, 极显著高于对其他挥发性物质的 EAG 反应相对值 ($P < 0.01$); 其次为柠檬酸和正十五烷, 二者 EAG 反应相对值差异不显著 ($P > 0.05$), 枣飞象雌雄成虫对油酸甲酯和十三烷 EAG 反应相对值显著低于对其他挥发性物质 ($P < 0.05$)。此外, 雌虫引起的触角电位反应值均高于雄虫, 其中雌雄虫对棕榈酸甲酯的反应值差异显著 ($P < 0.05$)。

2.4 枣飞象成虫对枣树挥发性物质的行为反应

枣飞象雌和雄成虫对 7 种枣树挥发性物质的行为反应试验结果见图 2。由图 2 可以看出: 枣飞象雌雄成虫对棕榈酸甲酯选择率最高分别为 70.59% 和 67.65%, 其次为 α -壬醛选择率分别达到 69.77% 和 65.85%。 χ^2 检验表明, 枣飞象成虫选择棕榈酸甲酯和壬醛气味源的总虫数与选择对照总虫数差异均达到显著水平 ($P < 0.05$), 说明雌雄成虫对壬醛和棕榈酸甲酯有明显正趋性。枣飞象雌雄成虫对十五烷选择率分别为 54.05% 和 68.42%, 且雄虫对十五烷气味的选择与对照相比差异显著 ($P < 0.05$), 雌虫对十五烷气味的选择与对照相比差异不显著 ($P > 0.05$), 说明雄虫对十五烷有明显正趋性。枣飞象对柠檬烯、十三烷、十四烷和油酸甲酯的选择率

为 41.67% ~ 59.46%, 且枣飞象雌雄成虫对这 4 种物质的反应与对照相比差异均不显著 ($P > 0.05$), 说明枣飞象成虫对柠檬烯、十三烷、十四烷和油酸甲酯无明显趋性。

3 讨论

枣飞象是为害枣树的一种重要食芽害虫, 枣芽挥发物在枣飞象和枣树的化学通讯中起着重要的作用(阎雄飞和李善才, 2012; 王晶玲等, 2017)。迄今为止, 关于枣芽的挥发性组分尚未见公开报道, 本研究对 5 个品种枣树的枣芽进行了挥发物采集和鉴定, 发现 5 种枣芽共有 6 类 26 种, 成分为萜烯类、酯类、醇类、烷类和酚类, 不同品种枣树枣芽的挥发性物质种类和含量均有一定差异, 这和枣树品种在长期的人工驯化过程中, 本身属性发生变化有一定关系。同韩颖(2010)等对枣树幼叶期挥发性物质报道相比, 发现枣树幼叶挥发性物质含量最高的为萜烯类, 这与本研究结果类似。但是本研究鉴定出的正十三烷、正十四烷、正十五烷、棕榈酸甲酯、壬醛、异丁醛、油酸甲酯等挥发性物质, 在枣树的幼叶中均没有发现, 这些物质可能是枣芽的特异性挥发组分,

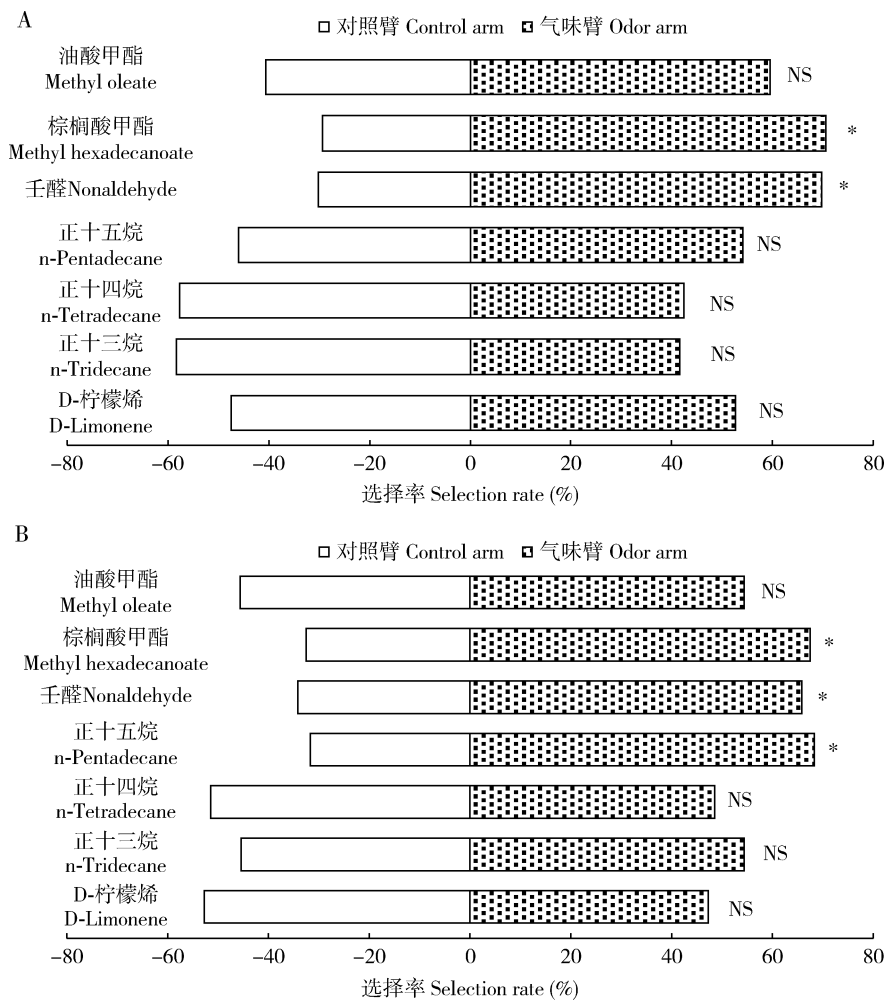


图 2 枣飞象雌(A)和雄(B)成虫对 7 种枣树挥发性物质的行为反应

Fig. 2 Behavioral responses of female (A) and male (B) adults of *Scythropus yasumatsui* to seven volatile compounds from the common jujube (*Zizyphus jujuba*)

卡方检验中的差异显著性水平分别用 NS($P>0.05$, 无显著差异)和单星号($P<0.05$, 差异显著)表示。Significance levels of χ^2 test are indicated by NS ($P>0.05$, no significant difference) and single asterisk ($P<0.05$, significant difference), respectively.

对枣树挥发物的进一步研究提供了基础数据。需要说明的是,本研究采用顶空吸附法对采集的枣芽进行了挥发物收集,枣芽为离体状态,挥发性物质和自然状态下肯定存在一定的差异,究竟枣芽在自然状态下和离体状态下挥发性物质的挥发性指纹谱有何差异,有待进一步研究。寄主植物释放出数十种到几百种挥发性物质,其中只有少数几种活性物质能引起昆虫行为反应 (Visser, 1986; 李为争等, 2015)。昆虫触角电位技术(EAG)能够直接记录昆虫对挥发性物质的电生理反应,具有很高的灵敏性和选择性,是筛选昆虫信息素和植物活性物质的主要技术(闫凤鸣, 2011)。本研究发现枣飞象对 D-柠檬烯、正十三烷、正十四烷、正十五烷、壬醛、棕榈酸甲酯、油酸甲酯的反应较强,对其余 10 种物质的反应非常弱,筛选出 7 种挥发性物质用于不同浓度

触角电位试验和行为测定。一般说来,昆虫对挥发性物质的反应具有浓度阈值,低于或高于这一阈值,昆虫的反应就会下降(王霞等, 2009; 李俊龙等, 2019)。例如绿豆象 *Callosobruchus chinensis* 对挥发性物质反应最强浓度为 $100 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ (王宏民等, 2017),华北大黑鳃金龟 *Holotrichia oblita* 和铜绿丽金龟 *Anomala corpulenta* 对挥发性物质反应最强浓度均为 $10 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ (邓思思等, 2011; 谢明惠等, 2015)。本研究发现,枣飞象对挥发性物质 EAG 反应最强浓度为 $50 \mu\text{g}/\mu\text{L}$,在此浓度下,枣飞象成虫对棕榈酸甲酯和壬醛 EAG 反应相对值显著高于其他挥发性物质,对油酸甲酯 EAG 反应相对值明显低于其他挥发性物质;说明枣飞象对枣树挥发性物质反应有广泛性和特异性。在触角电位反应结果中还发现,大部分枣飞象雌虫的触角电位 EAG 反应值高

于雄虫,在香蕉象甲 *Cosmopolites sordidus* (Budenberg *et al.*, 1993)、甘薯蚁象(贾小俭等, 2017)、绿豆象(王宏民等, 2017)等植食性象甲也得到了同样的研究结果,说明雌虫对挥发性物质反应比雄虫更为敏感,这可能和雌虫还承担产卵功能相关。

昆虫的触角电位反应仅表示枣飞象对挥发性物质的敏感程度,行为测试才能确定挥发性物质的具体作用(Cook, 2007)。本研究发现壬醛对枣飞象成虫有明显的吸引作用。壬醛能够吸引很多鞘翅目昆虫,在植食性昆虫的寄主定向过程中起着重要作用。如甘薯蚁象(贾小俭等, 2017)、铜绿丽金龟(谢明惠等, 2015)、桑天牛 *Apriona germari* (马艳等, 2018)、槐绿虎天牛 *Cosmopolites sordidus* (陈艳萍等, 2016),说明壬醛是植食性昆虫一种比较广谱的植物源引诱物质。棕榈酸甲酯对枣飞象有明显引诱作用,目前关于棕榈酸甲酯吸引植食性昆虫方面,尚未见报道,说明棕榈酸甲酯可能是吸引枣飞象的特异性物质,在枣飞象寄主选择过程中起着重要的作用。正十五烷对枣飞象雄虫有明显吸引作用,对雌虫吸引作用不明显,这种同一物质在雌雄两性昆虫作用具有差异,在绿豆象(王宏民等, 2017)、甘薯蚁象(贾小俭等, 2017)、茶丽纹象 *Myloccerinus aurolineatus* (Sun *et al.*, 2010)等植食性象甲存在类似的研究结果。有学者报道雄虫对性信息素类似物比雌虫更敏感的原因是雌虫为繁殖后代需要寻找食物、和产卵场所(陈展册等, 2010)。引起植食性象甲这种现象的原因究竟是什么,需要进一步研究。

寄主植物释放的挥发性物质在植食性象甲搜寻寄主、补充营养、产卵等行为活动中发挥着重要作用(Hare, 2011; 赵艳等, 2014)。油菜释放出的 4-戊烯基异硫氰酸酯、3-丁烯基异硫氰酸酯和 2-苯乙基异硫氰酸酯的混合物是白菜籽龟象 *Ceutorhynchus assimilis* 寻找寄主的化学指纹谱(Bartlet *et al.*, 1993);茶树释放的罗勒烯、法尼烯、顺式-3-己烯酯和芳樟醇是茶丽纹象识别嗜好茶树品种的指纹谱(Sun *et al.*, 2010);长足大竹象 *Cyrtotrachelus buqueti* 识别补充营养寄主竹笋依靠苯甲醛为主的化学指纹谱(杨桦等, 2010)。枣飞象和寄主植物的化学通讯过程比较复杂,是枣飞象对枣树气味化学指纹谱综合识别和反应的过程。我们前期的研究表明罗勒烯和 α -法尼烯对枣飞象有明显吸引作用(阎雄飞等, 2017)。到目前为止,共筛选出 4 种挥发性物质对枣飞象有明显的吸引作用,为枣飞象植物源引诱的开发提供了基础资料。研究单一挥发性物质

对枣飞象的作用仅是研究植物源引诱剂的前期工作,今后若能将罗勒烯、 α -法尼烯、壬醛和棕榈酸甲酯按照一定比例和含量进行组合,通过室内嗅觉生测和田间诱捕试验,筛选出具有田间效果的植物源引诱剂配方,将对监测和有效控制枣飞象具有重要实践意义。

参考文献 (References)

- Bartlet E, Bliht MM, Hick AJ, Williams MA, 1993. The response of the cabbage seed weevil (*Ceutorhynchus assimilis*) to the odour of oilseed rape (*Brassica napus*) and to some volatile isothiocyanates. *Entomol. Exp. Appl.*, 68(3): 295–302.
- Baur R, Feeny P, Stidler E, 1993. Oviposition stimulants for the black swallowtail butterfly: identification of electrophysiologically active compounds in carrot volatiles. *J. Chem. Ecol.*, 19(5): 919–937.
- Bruce TJA, Wadhams LJ, Woodcock CM, 2005. Insect host location: a volatile situation. *Trends Plant Sci.*, 10(6): 269–274.
- Budenberg WJ, Ndiege IO, Karago FW, Hansson BL, 1993. Behavioral and electrophysiological responses of the banana weevil *Cosmopolites sordidus* to host plant volatiles. *J. Chem. Ecol.*, 19(2): 267–277.
- Chen YP, Liu Q, Li M, Wang XJ, Zhang LL, Cao LJ, Qi BR, 2016. EAG and behavioral responses of *Chlorophorus diadema* to six volatiles from *Caragana koshinskii*. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 53(3): 632–641. [陈艳萍, 刘强, 李敏, 王星霖, 张玲玲, 曹丽娟, 郗博蕊, 2016. 槐绿虎天牛对柠条锦鸡儿 6 种挥发物的 EAG 和行为反应. 应用昆虫学报, 53(3): 632–641]
- Chen ZC, Su L, Ge F, Su JW, 2010. Electroantennogram responses of the green leaf bug, *Lygus lucorum* Meyer-Dür (Hemiptera: Miridae), to sex pheromone analogs and plant volatiles. *Acta Entomol. Sin.*, 53(1): 51–58. [陈展册, 苏丽, 戈峰, 苏建伟, 2010. 绿盲蝽对性信息素类似物和植物挥发物的触角电位反应. 昆虫学报, 53(1): 51–58]
- Cook S, 2007. The use of push-pull strategies in integrated pest management. *Annu. Rev. Entomol.*, 52: 375–400.
- Dai JQ, Han SC, Du JW, 2010. Progress in studies on behavioural effect of semiochemicals of host plant to insects. *J. Environ. Entomol.*, 32(3): 407–414. [戴建青, 韩诗畴, 杜家纬, 2010. 植物挥发性信息化学物质在昆虫寄主选择行为中的作用. 环境昆虫学报, 32(3): 407–414]
- Deng SS, Yin J, Cao YZ, Luo ZX, Wang W, Li KB, 2011. Electroantennographic and behavioral responses of *Holotrichia oblitato* plant volatiles. *Plant Prot.*, 37(5): 62–66. [邓思思, 尹姣, 曹雅忠, 罗宗秀, 王伟, 李克斌, 2011. 华北大黑鳃金龟对 20 种植物源挥发物的电生理和行为反应. 植物保护, 37(5): 62–66]
- Dicke M, Baldwin IT, 2010. The evolutionary context for herbivore-induced plant volatiles: beyond the ‘cry for help’. *Trends Plant Sci.*, 15(3): 167–175.
- Du YJ, Yan FS, 1994. The role of plant volatiles in tritrophic interactions among phytophagous insects, their host plants and

- natural enemies. *Acta Entomol. Sin.*, 37(2): 233–250. [杜永均, 严福顺, 1994. 植物挥发性次生物质在植食性昆虫、寄生植物和昆虫天敌关系中的作用机理. 昆虫学报, 37(2): 233–250]
- Fan H, Jin YJ, Li JQ, Chen HJ, 2004. Advances on plant volatile semiochemicals attracting herbivorous insects. *J. Beijing For. Univ.*, 26(3): 76–81. [樊慧, 金幼菊, 李继泉, 陈华君, 2004. 引诱植食性昆虫的植物挥发性信息化合物的研究进展. 北京林业大学学报, 26(3): 76–81]
- Gao YQ, Lu LH, Zhang X, Li JJ, Li XL, 2009. Tests of several chemical on control of *Scythropus yasumatsui*. *J. Northwest For. Univ.*, 24(6): 106–108. [高永强, 路丽华, 张欣, 李建军, 李修炼, 2009. 几种药剂防治酸枣食芽象甲试验. 西北林学院学报, 24(6): 106–108]
- Han Y, Li XG, Yang LJ, Fan YL, Zhang XW, 2010. Volatiles of Chinese jujube during different developmental phases. *J. Northwest For. Univ.*, 25(5): 170–175. [韩颖, 李新岗, 杨立军, 范艳林, 张学武, 2010. 枣树不同发育期挥发物研究. 西北林学院学报, 25(5): 170–175]
- Hare JD, 2011. Ecological role of volatiles produced by plants in response to damage by herbivorous insects. *Annu. Rev. Entomol.*, 56: 161–180.
- Hong B, Zhang F, Chen ZJ, Luo K, Zhao HY, 2019. Analysis of the genetic diversity of *Scythropus yasumatsui* (Coleoptera: Curculionidae) populations in China based on microsatellite markers. *Acta Entomol. Sin.*, 62(3): 381–390. [洪波, 张锋, 陈志杰, 罗坤, 赵惠燕, 2019. 基于微卫星标记的中国枣食芽象甲地理种群遗传多样性分析. 昆虫学报, 62(3): 381–390]
- Huang WZ, Li DC, 1993. Study on spatial distribution pattern of overwintering larvae of *Scythropus yasumatsui*. *Entomol. Knowl.*, 30(6): 348–350. [黄维正, 李东成, 1993. 枣飞象越冬幼虫空间分布格局的研究. 昆虫知识, 30(6): 348–350]
- Jia XJ, Ma J, Gao B, Li XH, Zhang T, Chen SL, Wang RY, 2017. EAG and olfactory responses of *Cylas formicarius* (Coleoptera: Curculionidae) to volatiles from plants of different sweetpotato cultivars. *Acta Entomol. Sin.*, 60(11): 1285–1291. [贾小俭, 马娟, 高波, 李秀花, 张涛, 陈书龙, 王容燕, 2017. 甘薯蚁象对不同甘薯品种植物挥发物的 EAG 和嗅觉反应. 昆虫学报, 60(11): 1285–1291]
- Jia ZB, Liu QX, Liu HY, 1991. Preliminary observation on life habit and control of *Scythropus yasumatsui*. *J. Gansu For. Sci. Technol.*, (2): 49–50. [贾增波, 刘启雄, 刘鸿源, 1991. 枣芽象甲生活习性初步观察及其防治. 甘肃林业科技, (2): 49–50]
- Knolhoff LM, Heckel DG, 2014. Behavioral assays for studies of host plant choice and adaptation in herbivorous insects. *Annu. Rev. Entomol.*, 59: 263–278.
- Li JL, Chen L, Liu CM, 2019. Olfactory and behavioral responses of *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) workers to cotton volatiles induced by cotton aphids. *Acta Entomol. Sin.*, 62(5): 594–601. [李俊龙, 陈立, 刘长明, 2019. 红火蚁工蚁对棉蚜诱导的棉花挥发物的嗅觉和行为反应. 昆虫学报, 62(5): 594–601]
- Li WZ, Hu JJ, Chen HJ, Guo XR, Wang Q, Yuan GH, 2015. A new perspective on the screening and blending of volatile pest attractants derived from plants. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 52(5): 1094–1106. [李为争, 胡晶晶, 陈汉杰, 郭线茹, 王琼, 原国辉, 2015. 挥发性植物源害虫引诱剂筛选与混配方法的新视角. 应用昆虫学报, 52(5): 1094–1106]
- Li WZ, Yang L, Shen XW, Yuan YH, Yuan GH, Luo MH, Guo XR, 2013. Electroantennographic and behavioural responses of scarab beetles to *Ricinus communis* leaf volatiles. *Acta Ecol. Sin.*, 33(21): 6895–6903. [李为争, 杨雷, 申小卫, 袁莹华, 原国辉, 罗梅浩, 郭线茹, 2013. 金龟甲对蓖麻叶挥发物的触角电位和行为反应. 生态学报, 33(21): 6895–6903]
- Ma Y, Shi LY, Zhao Y, Xu HC, 2018. Comparison of volatiles released from the host *Juglans mandshurica* in different damaged states and the GC-EAD and behavioral responses of *Apriona germari* (Coleoptera: Cerambycidae) to these volatiles. *Acta Entomol. Sin.*, 61(5): 574–584. [马艳, 史黎史, 赵艺, 徐华潮, 2018. 不同危害状态下寄主山核桃挥发物成分的比较及桑天牛对其组分的 GC-EAD 和行为反应. 昆虫学报, 61(5): 574–584]
- Ning T, Fan TJ, Fang YL, Sun JH, 2006. Changes in contents of host volatile terpenes under different damaged states and electroantennogram response of *Monochamus alternatus* Hope to these volatiles. *Acta Entomol. Sin.*, 49(2): 179–188. [宁眺, 樊庭坚, 方宇凌, 孙建华, 2006. 不同危害状态下寄主萆烯挥发物含量的变化及松墨天牛对其组分的触角电位反应. 昆虫学报, 49(2): 179–188]
- Ren DZ, Qi XY, 2009. Preliminary study on the control of *Scythropus yasumatsui* in northern Shaanxi. *J. Hebei Agric. Sci.*, 13(6): 40–41. [任登州, 齐向英, 2009. 陕北地区枣食芽象甲防治初探. 河北农业科学, 13(6): 40–41]
- Shi GL, Fan BH, Jia FB, Liu SQ, Cao H, 2000. Studies on the occurrence and copulation behavior of *Scythropus yasumatsui* Kono et Morimoto. In: Chinese Entomology towards the 21st Century – Proceedings of 2001 Annual Academic Meeting of the Chinese Society of Entomology. 589–593. [师光禄, 樊宝华, 贾峰彪, 刘素琪, 曹辉, 2000. 枣飞象发生规律及交配行为的研究. 见: 走向 21 世纪的中国昆虫学——中国昆虫学会 2000 年学术年会论文集. 589–593]
- Sun XL, Wang GC, Cai XM, Jin S, Gao Y, Chen ZM, 2010. The tea weevil, *Mylocherinus aurolineatus*, is attracted to volatiles induced by conspecifics. *J. Chem. Ecol.*, 36(2): 388–395.
- Tang XL, Zhao HZ, Zhang XW, 2013. Techniques for the control of *Scythropus yasumatsui* in the Northern Shaanxi. *Shaanxi For. Sci. Technol.*, (4): 131–132. [唐学亮, 赵宏志, 张学武, 2013. 陕北枣树食芽象甲防治技术研究. 陕西林业科技, (4): 131–132]
- Tingle FC, Heath RR, Mitchell ER, 1989. Flight response of *Heliothis subflexa* (Gn.) females (Lepidoptera: Noctuidae) to an attractant from groundcherry, *Physalis angulata* L. *J. Chem. Ecol.*, 15(1): 221–231.
- Visser JH, 1986. Host odour perception in phytophagous insects. *Annu. Rev. Entomol.*, 31: 121–124.

Wang BX, Yang H, Yang W, Yang CP, Can Y, Zhou M, He XH, 2014. EAG and behavioral responses of *Batocera lineolata* Chevrolat (Coleoptera: Cerambycidae) to ten plant volatiles. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 51(2): 481–489. [王保新, 杨桦, 杨伟, 杨春平, 蔡艳, 周梦, 何晓华, 2014. 云斑天牛对 10 种植物挥发物的 EAG 和行为反应. 应用昆虫学报, 51(2): 481–489]

Wang HM, Yang MM, Zhang YW, Zhang XH, 2017. Electroantennogram and behavioral response of *Callosobruchus chinensis* (Coleoptera: Bruchuidae) adults to volatiles from mung bean (*Vigna radiata*) pods. *Acta Entomol. Sin.*, 60(2): 148–154. [王宏民, 杨萌萌, 张耀文, 张仙红, 2017. 绿豆象成虫对绿豆豆荚挥发物的触角电位和行为反应. 昆虫学报, 60(2): 148–154]

Wang JL, Hong B, Chen ZJ, Lian ZM, Zhang SL, Li YM, Zhang F, 2017. The olfactory response of *Scythropus yasumatsui* to volatiles of different jujube cultivars. *J. Environ. Entomol.*, 39(6): 1191–1197. [王晶玲, 洪波, 陈志杰, 廉振民, 张淑莲, 李英梅, 张锋, 2017. 食芽象甲对不同品种枣树植物挥发物的嗅觉反应. 环境昆虫学报, 39(6): 1191–1197]

Wang X, Xu J, Shen YL, Liu FY, Du YJ, 2009. Electroantennogram responses of *Maruca testulalis* (Lepidoptera: Pyralidae) to plant volatiles and sex pheromone. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 20(8): 1973–1979. [王霞, 徐静, 沈幼莲, 刘凤英, 杜永均, 2009. 豆野螟成虫触角对植物挥发性和性信息素化合物的触角电位反应. 应用生态学报, 20(8): 1973–1979]

Xie MH, Chen HL, Yi JK, Li KB, Zhang J, Su WH, 2015. Electroantennographic and behavioral responses of *Anomala corpulenta* to plant volatiles. *Plant Prot.*, 41(1): 33–38. [谢明惠, 陈浩梁, 衣建坤, 李克斌, 张杰, 苏卫华, 2015. 铜绿丽金龟对植物源挥发物的触角电位和行为反应. 植物保护, 41(1): 33–38]

Yan FM, 2011. Chemical Ecology. 2nd ed. Science Press, Beijing. 44–85. [闫凤鸣, 2011. 化学生态学(第 2 版). 北京: 科学出版社. 44–85]

Yan SC, Cheng H, Yang H, Yuan HE, Zhang DF, 2006. Effect of plant volatiles on the EAG response and behavior of the grey tiger longicorn, *Xylotrechus rusticus* (L.) (Coleoptera: Cerambycidae). *Acta Entomol. Sin.*, 49(5): 759–767. [严善春, 程红, 杨慧, 袁红娥, 张德富, 2006. 青杨脊虎天牛对植物源挥发物的 EAG 和行为反应. 昆虫学报, 49(5): 759–767]

Yan XF, Li G, Liu YH, He Y, Wang JH, 2014. Study on spatial distribution pattern and sampling technique of overwintering larvae of *Scythropus yasumatsui* Kono et Morimoto. *Chin. Agric. Sci. Bull.*, 30(31): 285–289. [阎雄飞, 李刚, 刘永华, 贺英, 王敬辉, 2014. 枣食芽象甲越冬幼虫空间分布型和抽样技术研究. 中国农学通报, 30(31): 285–289]

Yan XF, Li SC, 2012. The behavior responses of *Scythropus yasumatsui* to volatiles emanating from different cultivars of jujube trees. *Chin. Agric. Sci. Bull.*, 28(22): 197–200. [阎雄飞, 李善才, 2012. 枣食芽象甲对不同品种枣树挥发物气味行为反应. 中国农学通报, 28(22): 197–200]

Yan XF, Liu YH, Li G, Qiang DH, Xu YP, 2017. EAG and olfactory behavioral responses of *Scythropus yasumatsui* to seven volatiles from the *Zizyphus jujube*. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 54(4): 621–628. [阎雄飞, 刘永华, 李刚, 强大宏, 许育平, 2017. 枣飞象对枣树七种挥发物 EAG 和嗅觉行为反应. 应用昆虫学报, 54(4): 621–628]

Yan XF, Pu TX, Li G, Liu YH, 2019. Spatial distribution of *Scythropus yasumatsui* adults and sampling techniques for this species in the jujube growing region of Northern Shaanxi. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 56(3): 585–594. [阎雄飞, 蒲泰勋, 李刚, 刘永华, 2019. 枣飞象成虫在陕北枣区的空间分布型及抽样技术. 应用昆虫学报, 56(3): 585–594]

Yang B, Zhang N, Yan XF, Liu YH, Lu PB, Shen J, 2019. Control efficiency of several pesticides on *Scythropus yasumatsui* Kōno et Morimoto. *J. Shanxi Agric. Sci.*, 47(4): 668–672. [杨斌, 张楠, 阎雄飞, 刘永华, 吕彭波, 沈佼, 2019. 几种杀虫剂对枣飞象的防治效果. 山西农业科学, 47(4): 668–672]

Yang H, Yang MF, Yang W, Yang CP, Zhu TH, Huang Q, Zhao XY, 2010. Behavioral and EAG responses of *Cyrtotrachelus buqueti* Guerin-Meneville (Coleoptera: Curculionidae) adults to host volatiles and their body extracts. *Acta Entomol. Sin.*, 53(3): 286–292. [杨桦, 杨茂发, 杨伟, 杨春平, 朱天辉, 黄琼, 赵晓英, 2010. 竹横锥大象对寄主及虫体挥发物的行为和触角电位反应. 昆虫学报, 53(3): 286–292]

Zhang F, Hong B, Wang YZ, Li YM, Chen ZJ, 2019a. Sequencing and phylogenetic analysis of the complete mitochondrial genome of *Scythropus yasumatsui* (Coleoptera: Curculionidae). *Acta Entomol. Sin.*, 62(11): 1305–1314. [张锋, 洪波, 王远征, 李英梅, 陈志杰, 2019a. 枣食芽象甲线粒体基因组全序列测定与系统发育分析. 昆虫学报, 62(11): 1305–1314]

Zhang F, Hong B, Wang YZ, Ren P, Li YM, Chen ZJ, 2019b. Observation of Antennal Sensilla from *Scythropus yasumatsui* (Coleoptera: Curculionidae) with Scanning Electron Microscope. *Acta Agric. Bor.-occid. Sin.*, 28(8): 1373–1379. [张锋, 洪波, 王远征, 任平, 李英梅, 陈志杰, 2019b. 枣食芽象甲触角传感器的扫描电镜观察. 西北农业学报, 28(8): 1373–1379]

Zhang PJ, Wei JN, Zhao C, Zhang YF, Li CY, Liu SS, Dicke M, Yu XP, Turlings TC, 2019. Airborne host-plant manipulation by whiteflies via an inducible blend of plant volatiles. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 116(15): 7383–7396.

Zhao Y, Gao XY, Xiao C, 2014. Advance of weevils host selection behavior research. *J. Agric. Catastrophol.*, 4(7): 18–21, 46. [赵艳, 高晓余, 肖春, 2014. 象甲科昆虫寄主选择行为研究进展. 农业灾害研究, 4(7): 18–21, 46]

(责任编辑: 赵利辉)